

УДК 519.688:630*245

UDK 519.688:630*245

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РУБОК УХОДА В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**AUTOMATION OF A CHOICE OF SYSTEM OF LOGGING MACHINES FOR CARRYING OUT CLEANING CUTTING IN CONIFEROUS PLANTINGS**

Мурзинов Юрий Валерьевич
Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

Murzinov Jury Valerjevich
Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

В статье рассмотрена специальная классификация лесозаготовительных машин и технологий проведения рубок ухода. Описана математическая модель количества повреждённых деревьев остающихся после рубок ухода в хвойных насаждениях. Представлено решение задачи оптимизации количества поврежденных деревьев и производительности лесозаготовительных машин при проведении рубок ухода. Показано возможное снижение количества повреждённых деревьев за счёт использования автоматизированного выбора системы лесозаготовительных машин

In this article, the special classification of logging machines and technologies of carrying out cleaning cutting is considered. The mathematical model of quantity of the damaged trees, remaining after cleaning cutting in coniferous plantings is described. The decision of optimization problem of quantity of damaged trees and productivity of logging machines at cleaning cutting is submitted. Possible decrease of quantity of damaged trees is shown, due to use of the automated choice of system of logging machines

Ключевые слова: СИСТЕМА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН, РУБКИ УХОДА, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ПОВРЕЖДЁННЫЕ ДЕРЕВЬЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Keywords: SYSTEM LOGGING MACHINE, CLEANING CUTTING, MATHEMATICAL MODELS, DAMAGE TREES, AUTOMATION

В настоящее время лесовыращивание является важной составляющей народного хозяйства РФ. Эффективность лесовыращивания определяется качественной работой всех составляющих лесопромышленного комплекса. Одним из этапов этой большой работы является проведение рубок ухода за лесом.

Существующие системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода опираются на современные классификации, и как показывает практика эффективность работы этих систем машин на рубках ухода низкая (невысокая производительность, высокая повреждаемость остающихся деревьев и т.д.). Существует проблема составления оптимальной системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом, обеспечивающих высокую эффективность.

Выполнение поиска этой оптимальной системы лесозаготовительных машин является трудоемким процессом, осуществить который ручными

методами невозможно. Для решения этой задачи необходимо применение автоматизированных процессов с использованием ЭВМ. Однако использование в автоматизированных системах проектирования существующих классификации рубок ухода, технологий и систем лесозаготовительных машин малоэффективно, т.к. они носят либо узкоспецифический, либо весьма обширный характер [1], и малоприменимы в автоматизированных системах. Поэтому для реализации автоматизированного выбора лесозаготовительных машин, обеспечивающих эффективное проведение рубок ухода в хвойных насаждениях разработана классификация, представленная в табл.1.

Таблица 1

Классификация технологий и машин для проведения рубок ухода

Вид рубки	Система лесозаготовительных машин	Технология рубки	Способ трелевки
Освет-ление (до 10 лет)	БП+МТ352 БП+Т40А(«муравей») БП+мини-трактор	лин.-выбор лин.-выбор выборочная	Деревьями Деревьями Хлыстами
Прочист-ка (от 10 до 20)	БП+МТ352 БП+Т40А(«муравей») БП+мини-трактор БП+Форв	лин.-выбор лин.-выбор выборочная лин.-выбор	Деревьями Хлыстами Хлыстами Сортиментами
Прорежи-вание (от 20 до 40)	БП+МТ382 БП+мини-трактор БП+Форв Харв+Форв	лин.-выбор выборочная лин.-выбор лин.-выбор	Деревьями Хлыстами Сортиментами Сортиментами
Проход-ные рубки (Свыше 40 лет)	БП+ТДТ55 ВПМ-35+ЛТ-190 БП+Форв Харв+Форв	лин.-выбор лин.-выбор лин.-выбор лин.-выбор	Хлыстами Деревьями Сортиментами Сортиментами

где БП – бензопила «Хускварна», МТ3-52, МТ3-82, ТДТ-55 – трелевочные трактора для чокерной трелевки, Т-40А «муравей» – трелевочный трактор с навесным оборудованием для бесчокерной трелевки «муравей», Харв – харвестер NORCAR ХС-15, Форв – форвардер NORCAR С-15, ВПМ-35 – валочно-пакезирующая машина, ЛТ-190 – машина для бесчокерной трелевки.

При проведении рубок ухода от валки и трелевки деревьев часто наблюдается значительное количество повреждений остающихся деревьев, их корневой системы, почвенного покрова. Количество повреждаемых деревьев является одним из показателей эффективности проведения рубок ухода в хвойных насаждениях. В настоящее время в лесничествах и

лесхозах отсутствуют четкие методики планирования снижения количества поврежденных деревьев на основе рационального использования лесозаготовительных машин при проведении рубок ухода. Это приводит к большим потерям растущих деревьев, ухудшению устойчивости лесонасаждений и нарушению их целостности. В итоге сводится на нет положительный лесохозяйственный эффект от рубок ухода за лесом.

На количество повреждаемых деревьев в большей степени влияют такие показатели как возраст, полнота, количество деревьев до вырубки на 1 га, процент вырубаемых деревьев и типы трелевочного оборудования, используемого при проведении рубок ухода.

В ФБГОУ ВПО «Воронежская лесотехническая академия» на кафедре «Автоматизация производственных процессов» автором была разработана регрессионная модель количества повреждаемых деревьев при проведении рубок ухода за лесом. Функционирование этой модели опирается на классификацию, представленную в табл.1. Общее количество поврежденных деревьев Kd определяется выражением

$$Kd = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 \quad (1)$$

где Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 – количество повреждённых деревьев, соответствующих разной степени интенсивности повреждения и тяжести повреждения. Y_1 – характер повреждений, соответствующий слому ствола ниже 0.5 высоты дерева; Y_2 – характер повреждений, соответствующий слому ствола выше 0.5 высоты дерева; Y_3 – характер повреждений слома вершинок стволов; Y_4 – повреждения корневой системы у растущих деревьев; Y_5 – повреждения кроны и коры.

$$Y_j = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_{12}X_1X_2 + a_{14}X_1X_4 + a_{15}X_1X_5 + a_{34}X_3X_4 + a_{36}X_3X_6 \quad (2)$$

где $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_{12}, a_{15}, a_{24}, a_{34}, a_{36}$ – коэффициенты, определяемые на основании опытных данных для каждой системы лесозаготовительных машин (табл.2); X_1 – возраст насаждения, лет; X_2 – полнота насаждения; X_3 – система лесозаготовительных машин, варьируется в зависимости от их технических характеристик: типа движителя (колесные, гусеничные), массы, механизмов, габаритов (табл.3); X_4 – число деревьев до рубки на 1 га, шт.; X_5 – диаметр вырубаемых деревьев, м; X_6 – количество срубленных деревьев, шт.

Парные взаимодействия необходимо учитывать, так как рассматриваемый процесс рубок ухода это взаимодействие техники и технологии (X_3X_5 и X_3X_6) а также таксационных характеристик насаждений (X_1X_2, X_1X_4, X_1X_5) при повреждении оставшихся деревьев.

Тяжесть повреждения оставшихся деревьев после рубки определяется следующим приоритетом:

$$Y_5 > Y_4 > Y_3 > Y_2 > Y_1. \quad (3)$$

Полученные таким образом пять уравнений регрессии, составляющие математическую модель, приведенные выше, дают возможность решения задачи многокритериальной оптимизации параметров рубок ухода и определение требуемой системы лесозаготовительных машин – X_3 , при которой количество поврежденных деревьев $Kd \rightarrow \min$.

Без минимизации лесоводственно-экологического ущерба от механизации рубок ухода невозможно в полной мере решить проблему получения максимально возможного объёма стволовой древесины от рубок ухода и главной рубки с 1 га за 1 год лесовыращивания. Однако сильное снижение производительности систем лесосечных и трелёвочных машин может привести к высокой стоимости и неэффективности рубок ухода как лесохозяйственных мероприятий. Поэтому необходимо решить задачу, содержащую конфликтную ситуацию: с одной стороны

минимизировать повреждаемость деревьев, с другой оставить производительность систем лесозаготовительных машин при проведении рубок ухода за лесом на довольно высоком уровне.

Таблица 2.
Значение коэффициентов уравнения регрессии количества повреждённых деревьев

		Степень повреждения деревьев				
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Значение коэффициентов уравнения регрессии	a_0	-10,61	-26,76	-235,33	-66,3	-4,5
	a_1	-0,8	0,266	0,74475	-0,2	-0,858
	a_2	-10	-35,06	-195,145	-50,5	-25,59
	a_3	-1,93	1,264	-0,0028	-4,347	-0,6
	a_4	0,0034	0,01	0,702	0,023	-0,0021
	a_5	3,655	3,0177	24,81173	8,834	2,859
	a_6	0,0055	0,00808	0,04	0,019	-0,002557
	a_{12}	0,1675	0,76	3,14	0,937	0,31834
	a_{14}	-0,000032	-0,0002	-0,000705	-0,00034	0,000137
	a_{15}	-0,0188	-0,0505	-0,2839	-0,096676	-0,006355
	a_{35}	0,17	-0,0095	0,1572	0,3664	0,026825
	a_{36}	-0,0018	-0,00287	-0,009784	-0,004756	0,000624

Таблица 3.
Системы лесозаготовительных машин и их весовые коэффициенты.

№ п/п	Система машин	Весовой коэффициент
1	БП+МТ382	3
2	БП+мини-трактор	4
3	БП+Форв	2
4	Харв+Форв	1,2
5	БП+ТДТ55	2,5
6	ВПМ-35+ЛТ-190	1

Для решения этой задачи рассмотрим древостой, как объект управления. На рис.1 представлена структурная схема управления ускоренным выращиванием древостоев. Главным управляющим воздействием на состояние древостоя являются рубки ухода за лесом, которое описывается следующими входными управляющими воздействиями: технология проведения рубки ухода за лесом; система лесосечных и трелёвочных машин, во многом зависящая от технологии

проведения рубки ухода; количество (процент) удаляемых из древостоя деревьев.

Другой группой входных воздействий на объект управления – древостой являются параметры, характеризующие состояние древостоя на момент проведения рубки ухода – возраст древостоя, средняя высота и средний диаметр деревьев, запас, плотность насаждения.

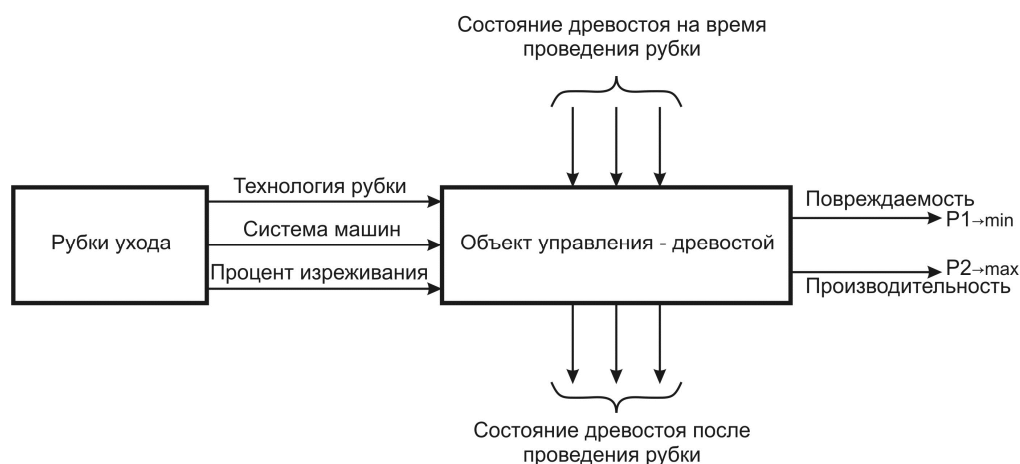


Рис.1. Структурная схема управления ускоренным выращиванием древостоев.

Выходные значения также подразделяются на две группы. Первая группа выходных параметров – состояние древостоя после проведения рубки ухода, аналогична входным параметрам. Прогнозируется при расчёте интенсивностей проведения рубок ухода. Во вторую группу выходных параметров включены: повреждаемость остающихся в древостое деревьев Kd и производительность систем машин Pc . Те параметры, по которым требуется произвести оптимизацию проведения рубок ухода за лесом.

Для решения задачи оптимизации был использован метод свёртки целевых функций [3]. Даны две целевых функции:

Количество повреждённых деревьев от проведения рубки ухода

$$Kd = f(X_i), \text{ где } i=1,2...6.$$

Производительности системы лесосечных и трелёвочных машин

$$Pc = f(X_i), \text{ где } i=1,2...6.$$

В качестве функции преобразования и привода целевых функций используются положительное линейное преобразование, дающее нормализованные функции в виде:

$$\overline{Kd} = \frac{Kd - Kd_{\min}}{Kd_{\max} - Kd_{\min}}; \overline{Pc} = \frac{Pc - Pc_{\min}}{Pc_{\max} - Pc_{\min}}, \quad (4)$$

где $Kd_{\min}, Pc_{\min} \rightarrow \min f(X_i)$ – минимальное значение целевой функции во всей области существования входных переменных; $Kd_{\max}, Pc_{\max} \rightarrow \max f(X_i)$ – максимальное значение целевой функции во всей области существования входных переменных.

Здесь целевые функции (частные критерии оптимальности) Kd, Pc при помощи нормализации приведены к безразмерному виду, общему началу отсчёта и единому интервалу изменения $[0...1]$.

$$0 \geq \overline{Kd} \geq 1; 0 \geq \overline{Pc} \geq 1. \quad (5)$$

Для свертки нормализованных целевых функций $\overline{Kd}, \overline{Pc}$ в единую аддитивную функцию P необходимо использовать коэффициенты веса a_1 и a_2 каждой функции, найденные методом экспертных оценок, исходя из средних баллов значимости каждого критерия оптимальности. Так как повреждаемость остающихся в древостое деревьев имеет большую значимость, чем производительность систем лесозаготовительных машин, то $a_1 \gg a_2$. Причем $a_1 + a_2 = 1$.

Таким образом, единая аддитивная функция P в виде свертки нормализованных целевых функций управления будет:

$$P = a_1 \overline{Kd} - a_2 \overline{Pc} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Экстремум единой аддитивной функции с вычислением значений оптимальных управляющих воздействий X_{0i} был найден методом Гаусса-Зайделя.

Таблица 4.
Оптимизация системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода в одновозрастных сосновых насаждениях II бонитета

Системы ЛЗМ	Производительность на валке, м ³	Производительность на трелёвке, м ³	Кол-во рабочих, чел	Общая производительность, м ³	Кол-во поврежденных деревьев на 1га	Значение целевой функции
1-я рубка – прореживание (T=25 лет)						
БП+МТ382	29,8	27,4	2	27,4	28	0,02 Оптим.
БП+мини-трактор	16,7	24,3	5	16,7	19	0,041 Альт.
БП+Форв	15,0	20,5	5	15,0	30	0,231 Альт.
Харв+Форв	20,1	43,1	—	20,1	40	0,307 Альт.
2-я рубка – проходная (T=42 года)						
БП+ТДТ55	24,9	44,7	5	24,9	22	0,249 Альт.
ВПМ-35+ЛТ-190	30,6	48,8	—	30,6	32	0,399 Альт.
БП+Форв	22,7	41,2	5	22,7	25	0,319 Альт.
Харв+Форв	60,8	99,2	—	60,8	30	0,162 Оптим.
3-я рубка – проходная (T=65 лет)						
БП+ТДТ55	30,8	57,6	5	30,8	6	0,299 Альт.
ВПМ-35+ЛТ-190	64,8	68,1	—	64,8	8	0,282 Альт.
БП+Форв	28,1	61,1	5	28,1	5	0,237 Альт.
Харв+Форв	81,6	121,5	—	81,6	8	0,2 Оптим.

Проведенный оптимизационный расчёт был использован при составлении компьютерной программы «Формирование оптимальных решений по выбору технологий и лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода в хвойных насаждениях». Программой «Формирование оптимальных решений по выбору технологий и лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода в хвойных насаждениях» был произведен оптимизационный расчёт систем машин для проведения рубок ухода, обеспечивающий максимальную производительность при снижении повреждаемости деревьев, остающихся

после проведения очередной рубки. Результаты расчёта представлены в табл.4.

Оптимальной системе лесозаготовительных машин соответствует минимальное значение единой аддитивной целевой функции P (6). Для соснового насаждения II бонитета были построены диаграммы, отображающие выбор оптимальной системы лесозаготовительных машин по показателям повреждаемости остающихся деревьев и производительности системы машин. Диаграммы представлены на рис.2, 3, 4.

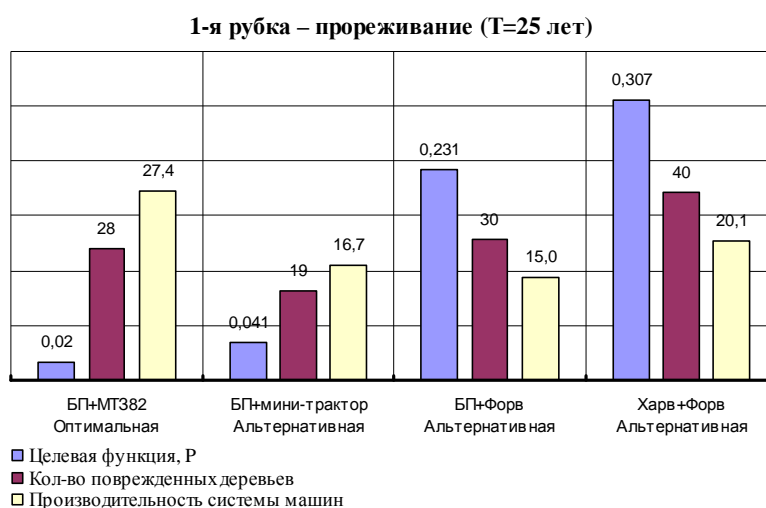


Рис.2. Выбор оптимальной системы машин для проведения первой рубки ухода

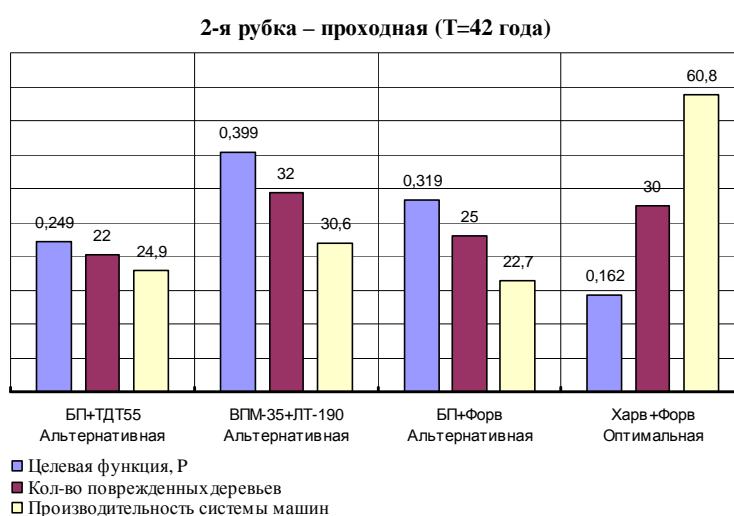


Рис.3. Выбор оптимальной системы машин для проведения второй рубки ухода

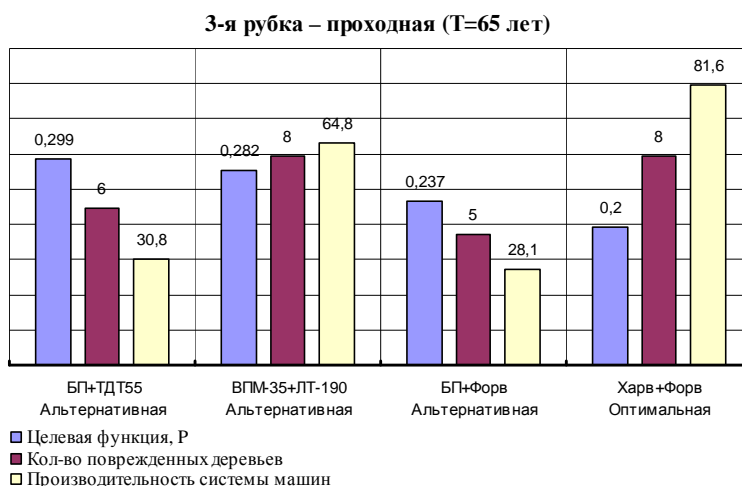


Рис.4. Выбор оптимальной системы машин для проведения третьей рубки ухода

Выполненные расчёты для насаждений сосны обыкновенной второго бонитета показали, что на каждом этапе рубки выбор системы лесозаготовительных машин обеспечивает максимальную эффективность. Производительность оптимальной системы лесозаготовительных машин может достигать двукратной величины по сравнению с существующими системами лесозаготовительных машин.

Литература

1. Математические модели, вычислительные процедуры систем автоматизированного проектирования рубок ухода за лесом. Авдонин И.Б., Гордиенко В.Л., Коваль И.И., Петровский В.С., Попов В.К., Черепухин С.А./ Под общ. ред. проф. В.С. Петровского. Воронеж: Воронеж, гос. лесотех. академ., 2001. – 309с.
2. Пошарников Ф.В. Практикум по технологии и оборудованию рубок промежуточного пользования/ Ф.А Пошарников, А.С. Черных, С.П. Черепанов – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 104с.
3. Петровский В. С. Теория управления [Текст]: Учебное пособие. – Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 1998. – 166с.